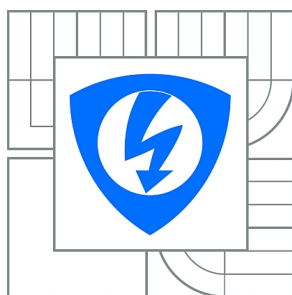




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SENZOROVÁ SÍŤ PRO MONITOROVÁNÍ PŘÍTOMNOSTI

PRESENCE MONITORING BY SENSOR NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ VICIAN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ HYNČICA

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Tomáš Vician

ID: 110433

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Senzorová síť pro monitorování přítomnosti

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvoření aplikace na bázi senzorové sítě pro monitorování přítomnosti ve vymezené oblasti. Seznamte se se s komunikačním standardem IEEE 802.15.4/ZigBee a s metodami a snímači pro monitorování přítomnosti a pohybu. Navrhněte postup vyhodnocení dat z vybraných snímačů a jejich přenos pomocí senzorové sítě.

Navržený postup vyzkoušejte na jednoduché aplikaci nebo simulaci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CROSS, Pete. Zeroing on ZigBee. Circuit Cellar. [online]. 2005, iss. 175. Dostupné z <<http://www.circuitcellar.com/library/print/0205/Cross175/2.htm>>. ISSN 1528-0608.
- [2] STALLINGS William. Wireless Communications & Networks. 2.vyd. Upper Saddle River (NJ): Pearson Prentice Hall, 2005. ISBN 0-13-191835-4.
- [3] TUTWSN - Wireless Sensor Network. [online] URL: <http://www.tkt.cs.tut.fi/research/daci/ra_tutwsn_overview.html> [cit. 2009-09-15]

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Hynčica

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

V projektu je popsán postup vytvoření aplikace na bázi senzorové sítě pro monitorování přítomnosti pomocí komunikačního standardu IEEE 802.15.4/ZigBee. Na projekt jsou kladeny požadavky na nízkou energetickou náročnost a rychlost přenosu dat. Je zde řešen výběr snímačů vhodných pro tento projekt, vytvoření synchronizace měření tak, aby se jednotlivé snímače neovlivňovaly a předávání dat pomocí bezdrátové technologie. V projektu je navržena logická topologie senzorové sítě a byly vytvořeny aplikace realizující funkce jednotlivých prvků sítě.

Klíčová slova

uA PIR, snímač, zigbee, ultrazvukový, pohybové senzory, wibree, Z-wave

Abstract

In project is described creation of application at base Presence monitoring by sensor network using a communication standard IEEE 802.15.4/ZigBee. Project requirements are low power consumption and fast data rate. Solution is provided for selection of suitable sensors for this project, creation of synchronization measurement, so as to not be affected by individual sensors and transmitting data using wireless technology. In project is designed logical topology of sensor networks and applications have been developed that perform the functions of individual network elements.

Key words

uA PIR, sensor, zigbee, ultrasonic, motion sensor, wibree, Z-wave

Bibliografická citace

VICIAN, T. *Senzorová síť pro monitorování přítomnosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 44 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Hynčica.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Senzorová síť pro monitorování přítomnosti jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **31. května 2010**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Hynčicovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. REŠERŠE	10
2.1 Senzory:.....	10
2.1.1 Pasivní Infračervené (Passive InfraRed - PIR).....	10
2.1.2 Ultrazvukové (Aktivní).....	11
2.1.3 Mikrovlnné (Aktivní).....	12
2.1.4 Shrnutí senzorů.....	13
2.2 Komunikace:.....	14
2.2.1 ZigBee:.....	14
2.2.2 Wibree:.....	14
2.2.3 Z-Wave:	14
2.2.4 Shrnutí komunikace	15
2.2.5 MeshBean 900 development board	15
2.3 Podobné projekty:	17
3. ROZBOR.....	18
3.1 Rozmístění čidel a problematika měření:	18
3.2 Použití ultrazvukových čidel:	19
3.3 Vyhodnocení měření:	20
3.4 Cílová aplikace:	21
3.5 Demo aplikace:	22
3.5.1 Obslužný program pro jednotlivé moduly zigbee Demo aplikace	23
3.5.2 Zobrazovací program na PC.....	24
4. VYPRACOVÁNÍ.....	25
4.1 Výběr snímačů	25
4.1.1 Ověření vlastností PIR	25
4.2 Použité prostředky pro realizaci	27
4.2.1 AVR Studio	28
4.2.2 Microsoft Visual studio 2008.....	28
4.3 struktura sítě	28

4.4 návrh aplikace.....	29
4.4.1 Router.....	29
4.4.2 Koncové zařízení (ED)	32
4.4.3 Koncové zařízení + PIR (End Device+PIR).....	34
4.4.4 Koordinátor	36
4.4.5 Zobrazení v PC	36
4.4.6 implementace.....	37
4.4.7 Popis souborů	37
4.4.8 Popis hlavních částí programu	37
4.4.9 Popis některých funkcí.....	37
4.5 Vyhodnocení.....	38
5. ZÁVĚR	40
6. REFERENCE	43
7. SEZNAM ZKRATEK.....	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: PIR senzor [2].....	10
Obrázek 2: Ultrazvukový snímač [3].....	11
Obrázek 3: Princip ultrazvukového snímače [4]	11
Obrázek 4: Mikrovlnný snímač s PIR snímačem [6].....	12
Obrázek 5: MeshBean 900 development board [11]	16
Obrázek 6: Stavový diagram systému.....	19
Obrázek 7: Topologie sítě mesh	21
Obrázek 8: Topologie demo aplikace	22
Obrázek 9: Graf závislosti doby návratu do klidového stavu na vzdálenosti	26

Obrázek 10: BitCloud blokový diagram [14].....	27
Obrázek 11: Logická topologie sítě.....	29
Obrázek 12: Stavový diagram routeru	31
Obrázek 13: Stavový diagram koncového zařízení	33
Obrázek 14: Stavový diagram koncového zařízení + PIR	35
Obrázek 15: Aplikace pro zobrazení dat v PC	36

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Srovnání nízkoenergetických komunikačních technologií [10]	15
Tabulka 2: ZigBit 900 [12].....	17
Tabulka 3: Časové hodnoty ustálení PIR.....	26

1. ÚVOD

Cílem práce je vytvořit aplikaci na bázi senzorové sítě pro monitorování přítomnosti ve vymezené oblasti pomocí bezdrátové technologie.

Aplikace je zaměřena na detekci pohybu a určení přesné polohy v měřené oblasti. Určena je především pro oblast bezpečnosti práce a ochrany majetku.

Aplikace je tvořena sítí senzorů propojených bezdrátovou technologií ZigBee, s implementací plného komunikačního modelu ZigBee-PRO. Využití se tudíž předpokládá všude, kde není vhodné instalovat propojovací kabely, ať už z ekonomického, konstrukčního, estetického nebo jiného hlediska.

Aplikace využívá moderních technologií z oblasti telekomunikace a mikroelektroniky. Umožňují tak miniaturizaci a velice nízkou energetickou náročnost při dané funkčnosti. Každý snímač bude vybaven vlastním vysílacím prvkem a vysokokapacitními tužkovými bateriemi, které energeticky budou dostávat pro provoz až na několik měsíců.

Síť má logickou topologii stromu. Koncové prvky jsou v době klidu v režimu spánku, aby uspořily energii a pokud v dané oblasti snímač pohybu zaznamená pohyb, koncové prvky sítě se přepnou do aktivního režimu a přesně určí polohu objektu pomocí snímačů vzdálenosti.

Kapitola 2 se zabývá rozbořem požadavků zvolené aplikace, kapitola 3 obecně popisuje řešení. V kapitole 4 jsou detailně popsány jednotlivé části realizace.

2. REŠERŠE

V této kapitole jsou teoretické podklady pro práci. Jsou zde popsány senzory a komunikační technologie, které jsou pro monitorovací síť vhodné a podobný projekt, který se zabýval podobnou problematikou.

2.1 SENZORY:

Pohybové senzory jsou zařízení, které detekují pohyb těles ve svém dosahu. Jsou to základní prvky bezpečnostních systémů pro ochranu majetku a domů. V bezpečnostní technice se používají především tyto typy: infračervené, ultrazvukové a mikrovlnné snímače. [1]

2.1.1 Pasivní Infračervené (Passive InfraRed - PIR)



Obrázek 1: PIR senzor [2]

- Zaznamenávají teplo. Žádná energie není emitována ze senzoru.
- Pohyb je detekován, když objekt s jednou teplotou, například člověk, vkročí před objekt s jinou teplotou, například zeď.
- Tento senzor je velmi běžný pro svou jednoduchost a cenu. Vyskytuje se v mnoha variantách.

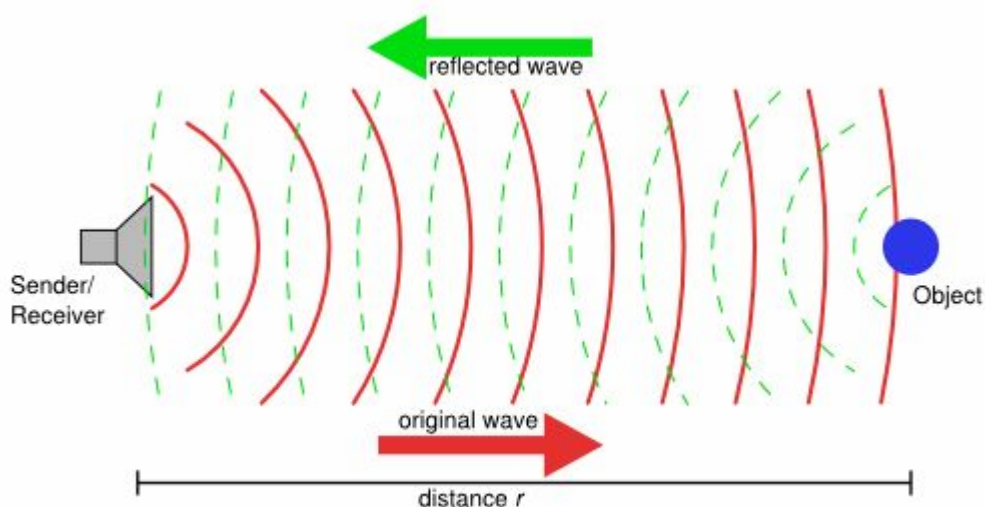
- Dosah senzoru se dá ovlivnit použitím čočky až na 16m. U speciálních typů může být i víc.
- Pomocí čočky se dá také snížit citlivost, aby senzor nedetekoval domácí zvířata.

2.1.2 Ultrazvukové (Aktivní)



Obrázek 2: Ultrazvukový snímač [3]

- Senzor funguje na stejném principu jako radar. Vysílá ultrazvukové pulzy a počítá dobu za niž se vrátí odraz od objektu. Z této doby vypočítává vzdálenost objektu.
- Ultrazvuk je zvuk o kmitočtu 20kHz. Lidské ucho ho neslyší.



Obrázek 3: Princip ultrazvukového snímače [4]

2.1.3 Mikrovlnné (Aktivní)

- Opět stejný princip jako u radaru. Senzor vysílá mikrovlnné pulzy a počítá dobu za niž se vrátí odraz od objektu.
- Mikrovlny proniknou většinou povrchů kromě kovů. Mohou tak snímat pohyb i za překážkami.
- Nevýhoda je, že mohou snímat i za zdí a tak se ovlivňovat s jinými snímači při rozsáhlejších sítí.[5]
- Velmi často se používá v kombinaci s PIR senzorem.



Obrázek 4: Mikrovlnný snímač s PIR snímačem [6]

2.1.4 Shrnutí senzorů

Nejnižší odběr energie mají PIR senzory. Pohybují se už od jednotek uA, takže při napájení na baterie vydrží stovky dnů. Ultrazvukové snímače mají odběr v desítkách mA, takže se pro neustálé bateriové napájení nehodí, proto budou aktivovány pouze pro detekci pohybu pomocí PIR senzoru, jelikož se pomocí nich dá zjistit více údajů. Mikrovlnné senzory mají ještě větší odběr než ultrazvukové a mohly by se vzájemně ovlivňovat. Pro tuto aplikaci budou vyhovovat snímače PIR a ultrazvukové.

PIR senzor IR-250LP [2] má ideální parametry pro tuto aplikaci. Spotřeba samotného senzoru 8 uA by nám zaručovala dobu provozu s 3000mAh baterií asi 40 let. Toto číslo se samozřejmě zmenší při napájení modulu ZigBee.

Použitý ultrazvukový snímač: SRF08 [3]

Parametry: Frekvence 40kHz
 Vyzařovací úhel 55°
 Napájení 5V/15mA (**3mA stand by**)
 Rozsah 3cm - 6m
 Analogové zesílení 94 - 1025 v 32 krocích
 Světelný senzor
 Výstup I2C interface, jednotky cm, palce nebo mikrosekundy
 Rozměry 43x20x16mm

2.2 KOMUNIKACE:

Jednotlivé prvky monitorovací sítě jsou propojeny pomocí bezdrátové technologie. Požadavky jsou kladeny především na nízkou spotřebu, spolehlivost a dostupnost.

2.2.1 ZigBee:

Komunikační technologie Zigbee je popsána standardem IEEE 802.15.4. Je vyvíjena ZigBee aliancí, ve které jsou přední firmy z oboru automatizace (Honeywell, Motorola, Philips, Samsung, Omron, ABB, Siemens). Zigbee je technologie určená pro průmyslovou automatizaci. Hlavními přednostmi jsou spolehlivost, jednoduchá a nenáročná implementace, velmi nízká spotřeba energie a v neposlední řadě též příznivá cena. [7]

2.2.2 Wibree:

Nyní známá jako Bluetooth low energy Technology. Jak název napovídá, vychází z technologie Bluetooth, ale na rozdíl od ní má menší přenos a nižší odběr energie. Hlavním vývojářem je Nokia. Wibree je především určeno pro mobilní telefony, hodinky a tělesné senzory s bateriovým napájením, jelikož její dosah je stejný jako u Bluetooth 10m [8].

2.2.3 Z-Wave:

Bezdrátová technologie vytvořena pro vzdálené ovládání především světel a domácí automatizaci. Využívá pásmo 900 MHz a přenos je 40kb/s.[9] Je podporována Z-Wave aliancí a tvoří tak hlavního konkurenta technologii ZigBee. Na rozdíl je od ? proprietární, takže získání informací a podpory pro nezávislého vývojáře je velice obtížné.

2.2.4 Shrnutí komunikace

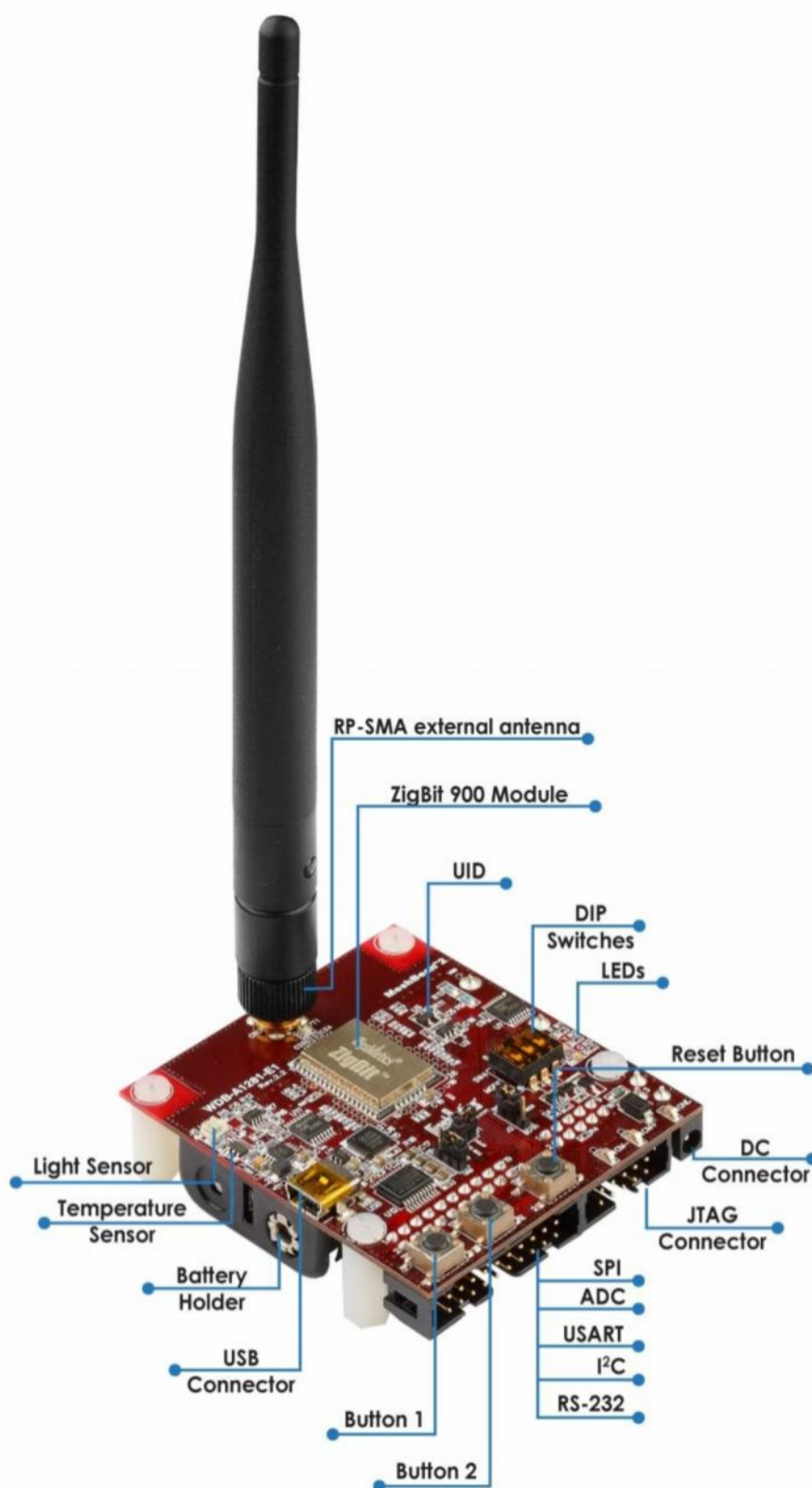
	Wibree	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi (802.11b)
Datový tok	1 Mbit/s	1 – 3 Mbit/s	20 – 250 Mbit/s	11 Mbit/s
Dosah	5 - 10 m (otevřený prostor)	1 - 100 m	100 - 300 m (otevřený prostor)	100 m, otevřený prostor (20 dBm)
Frekvence	2,45 GHz	2,45 GHz	2,45 GHz, 868/915 MHz	2,45 GHz
Modulace	Musí se určit	FSK, GMSK	Přímá sekvence QPSK, CSMA-CA	QPSK, CSMA-CA přístup
Napájení	Až 10x menší než Bluetooth	2.5 mW pro Class 2 (10-m dosah)	0.1 mW na 10m při 250 kbits/s, typická střída 0.1%	Optimalizací lze dosáhnout se dostat pod 4 mW na krátkou vzdálenost
Zabezpečení	AES	AES planned	AES-128	802.1x

Tabulka 1: Srovnání nízkenergetických komunikačních technologií [10]

Pro propojení jednotlivých zařízení je použita bezdrátová technologie Zigbee. Je to z toho důvodu, že jednotlivé snímače s vyhodnocujícími jednotkami budou malé a kompaktní, ve vzdálenosti několika metrů od sebe a až desítky metrů od centrály. Také je vytvořena na základě otevřeného standartu IEEE, tudíž hledání podpory u nezávislých programátorů je jednodušší.

2.2.5 MeshBean 900 development board

ZigBit™ 900 Development Kit (ZDK) je komplexní soubor nástrojů pro návrh, vývoj a testování aplikací pro modul ZigBit 900. Modul se dá napájet dvěma AA bateriemi nebo přes USB. Při návrhu jsem využíval především napájení přes USB, jelikož se modul přes USB – virtuální COM port také programuje. Balení obsahuje také program na upload programu, knihovny a manuál. Manuál je docela podrobný, ikdyž v něm chybí ukázky použití příkazů. Na desce se mimo jiné nacházejí 3 tlačítka a 3 LED diody, které velice usnadňují programování a debugging aplikace.



Obrázek 5: MeshBean 900 development board [11]

Parametr	ZigBit
Frekvenční pásmo	Evropa: ISM Band 863 - 870 MHz Severní Amerika: ISM Band 902 - 928 MHz
Hardwarové šifrování dat	AES 128 bit
Datový tok	až 1 Mb/s
Max výstupní zesílení	až +11 dBm
Citlivost Přijímače (PER 1%)	up to - 110 dBm
Napájecí napětí (Vcc)	1.8 V to 3.6 V
Proudový odběr: RX/TX mode	11 mA / 26 mA
Proudový odběr: Power Save Mode	< 6 uA
On-Chip Flash Memory	128 kB
On-Chip RAM	8 kB
On-Chip EEPROM	4 kB
Rozměry	18.8 x 13.5 x 2.8 mm
	0.53" x 0.74"
Váha	1.3 g
Provozní Teplota	-40 — +85 °C

Tabulka 2: ZigBit 900 [12]

2.3 PODOBNÉ PROJEKTY:

Enhancing the spatial resolution of presence detection in a PIR based wireless surveillance network[13]:

V projektu jsou použity 3 PIR senzory ve vzdálenosti 80cm od sebe s 45° natočením. Autoři zkoumali možnosti této soustavy detekovat 3 osoby. Při průchodu osob za sebou měli 100% úspěšnost. Pokud, ale osoby šly vedle sebe, přesnost soustavy byla 65% pro 3 osoby 85% pro 2 osoby.

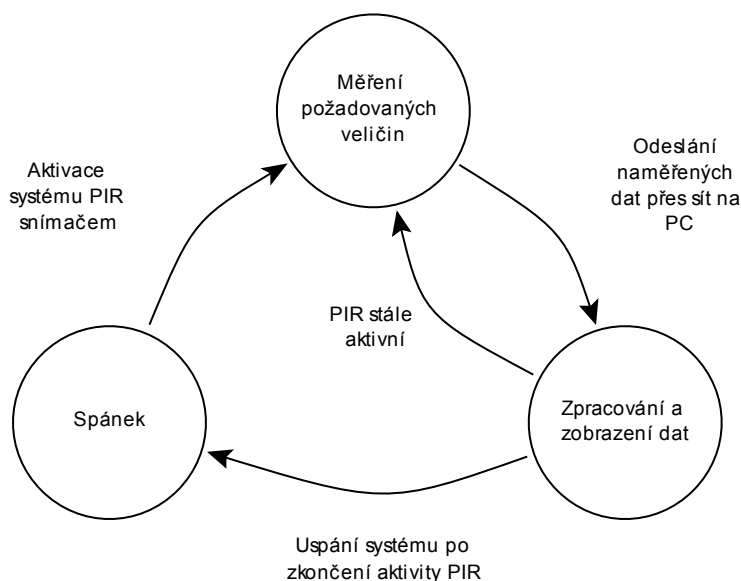
3. ROZBOR

Senzorová síť bude řešit situace, kdy objekt vnikne do hlídaného objektu. Jakmile nastane tato situace, systém se probudí ze spícího režimu do aktivního režimu. V aktivním režimu bude objekt v prostoru sledovat, vyhodnocovat jeho polohu a zobrazovat na obslužném PC.

3.1 ROZMÍSTĚNÍ ČIDEL A PROBLEMATIKA MĚŘENÍ:

Rozmístění PIR čidel a probouzení systému:

PIR čidlo bude umístěno vždy minimálně jedno v každé buňce monitorovacího systému. PIR čidlo bude stále napájené. To si může dovolit díky jeho nízké spotřebě, jež zatěžuje baterii minimálně. Narušení prostoru jako první rozpozná PIR čidlo a tak vzbudí celou buňku systému (viz Logická topologie sítě obr. 11). Tudíž celá odpovědnost za probuzení systému padá právě na toto čidlo. Proto se pro umístění čidla bude volit pozice v závislosti na prostředí, takže čidlo bude mít nekrytý výhled na většinu hlídaného prostoru, především průchody a průjezdy. Uspávání systému bude záviset na PIR čidlu a aktivitě ostatních čidel, pokud ani jedno z ultrazvukových čidel nezaznamená změnu oproti výchozímu stavu, systém uspí koncové prvky, jestliže ani po uplynutí časovače nepříjde zpráva o aktivitě PIR (odhadem 5 až 10s) . Tím zabráníme zbytečnému vypínání a zapínání buňky, pokud by objekt, jež vyvolal aktivaci, na okamžik zastavil. Přesná doba uspávání bude určena až zkušebním provozem.



Obrázek 6: Stavový diagram systému

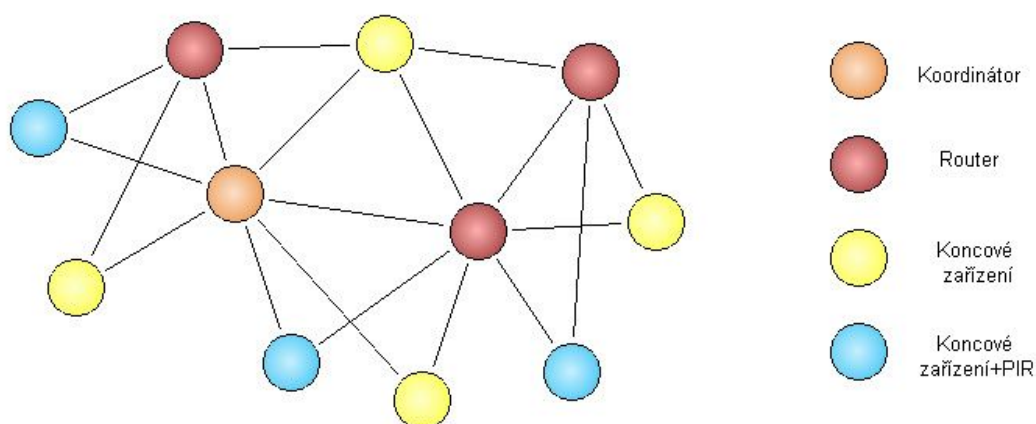
3.2 POUŽITÍ ULTRAZVUKOVÝCH ČIDEL:

Ultrazvuková čidla jsou použita především kvůli možnosti určení vzdálenosti měřeného objektu od čidla, na rozdíl od PIR snímačů, které dokáží vyhodnotit pouze přítomnost ano/ne. Čidla budou umístěna v závislosti na konkrétním místě. Ideální poloha by byla v každém horním rohu místnosti směřující do protějšího spodního rohu. Čidla tak budou v poloze jež bude nejvýhodnější, protože nebudou omezována běžnými překážkami v nižších částech místnosti. Počet čidel pro jednu buňku je minimálně 4 a to z důvodu přesného určení polohy objektu v prostoru. K tomuto úkonu bychom teoreticky potřebovali pouze 3 ultrazvukové snímače, ale pokud bychom měli dva objekty pohybující se v zákrytu ve směru jednoho ze snímačů, dostávali bychom nepravdivé výsledky o vzdálenějším objektu. Aby se jednotlivá čidla v buňce vzájemně neovlivňovala, budou měřit v sekvencích za sebou. To bude zajištěno pomocí funkce implementované v routeru každé buňky. V případě příliš dlouhé chodby nebo místnosti, která by překračovala možnosti snímačů nebo by bylo nevýhodné, aby místnost byla proměřována celá, se prostor rozdělí na více buněk.

Buňky se softwarově prováží, aby měřily synchronizovaně tak, že ani jedno z čidel dvou nebo více buněk neměřilo najednou. Tímto krokem by se mohla zmenšit četnost měření při aktivaci všech provázaných buněk najednou, ale i přesto bychom měli dostávat dostatek informací pro vyhodnocení pozice objektu.

3.3 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ:

Jednotlivá data naměřená snímači budou posílána z uzlů jednotlivých buněk do koordinátoru, který bude připojen na PC. Tudíž veškeré výpočty bude realizovat aplikace v počítači. Aplikace nejprve bude muset roztřídit data adres jednotlivých čidel. Adresa bude tvořena tak, aby z ní byla jasná poloha a buňka, ve které čidlo je. Aplikace bude muset mít přesnou databázi monitorovaných prostor v souřadnicovém systému. Při prvním spuštění se zaznamenají hodnoty prázdného prostoru. Tyto hodnoty se pro další výpočty nebudou počítat. Celé toto mapování prostoru bude funkce, která se bude provádět jednou denně automaticky nebo manuálně v případě větších změn nábytku nebo vestavění jiných překážek v měřeném prostoru. Po odfiltrování nežádoucích hodnot aplikace bude následovat vyhodnocení. Při vyhodnocení se určí přesná poloha z hodnot předaných čidly. V případě výskytu chybných měření, například při zachycení narušitele pouze dvěma čidly zobrazí předpokládaná oblast výskytu.



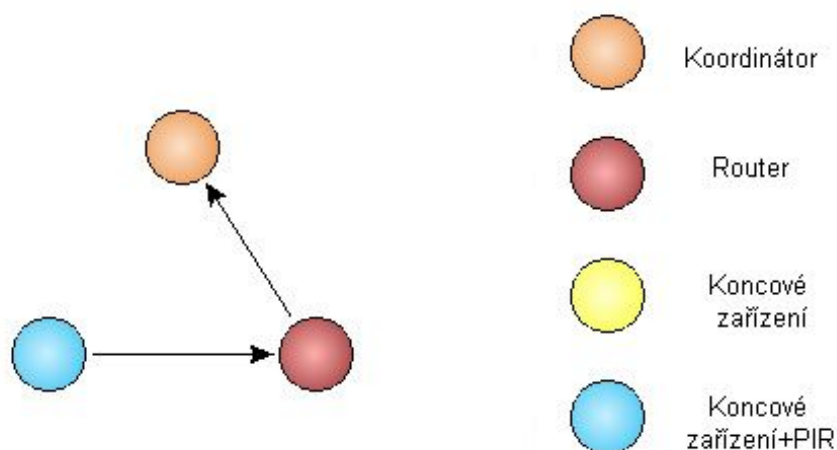
Obrázek 7: Topologie sítě mesh

3.4 CÍLOVÁ APLIKACE:

Cílová aplikace tohoto monitorovacího systému je pro určení přesné polohy objektu nebo osob v prostoru. Jednou z možností využití je dodržení bezpečné vzdálenosti při vjíždění nákladních automobilů do benzínových stanic nebo skladů. Jako obdoba parkovacích systémů. Rozdíl by byl především v tom, že by senzory bylo vybaveno prostředí a nikoliv automobil. Tím by prostředí – benzínová pumpa zajišťovala bezpečný vjezd nebo nemožnost vjezdu příliš velkému nákladnímu autu. A především v takto frekventovaných místech, jako jsou benzínové pumpy nebo překladiště nákladu je výhodnější toto místo vybavit senzory, než jimi vybavit každé auto. Další možností je zabezpečení prostor nebo objektů proti přítomnosti osob. Například nebezpečných prostor nebo výrobních strojů jež jsou po zapnutí nebo v určité fázi výrobního procesu nebezpečné pro své okolí. Bezdrátové spojení sítě a bateriové napájení by umožňovalo jednodušší instalaci do již postavených objektů nebo místností.

3.5 DEMO APLIKACE:

Na demonstrační aplikaci byla prováděna všechna doladování a testovací práce. Jelikož obsahuje tři hlavní části sítě, stačí pro demonstraci všech funkcí sítě. Demonstrační aplikace se skládá z koordinátoru, routeru a jednoho koncového zařízení se snímačem PIR (koncové zařízení+PIR). Jakékoliv rozšíření do počtu routerů nebo koncových zařízení sítě pouze rozšiřuje a zvyšuje počet naměřených dat, nikoliv množství použitých funkcí. V demonstrační aplikaci nejsou použity ultrazvukové snímače kvůli náročnosti jejich implementace. Její hlavní úloha je demonstrace předávání dat po síti a postupné předávání tokenu pro řízení synchronizace měření. Rozdíl oproti cílové aplikaci je v počtu použitých prvků, které jsou určeny především místem použití. Rozdíl je také v tom, že demonstrační aplikace běží na vývojových modulech a nikoliv na samostatných naprogramovaných čípech.



Obrázek 8: Topologie demo aplikace

3.5.1 Obslužný program pro jednotlivé moduly zigbee Demo aplikace

Tento program bude mít 3 obměny pro Koordinátor, Router a EndDevice+PIR. Programy jsou psány v jazyce C++ ve vývojovém prostředí AVR Studio a po kompilaci nahrány na mikrokontrolery. Aplikace využívá BitCloud stack, což je soubor knihoven napsaných pro ovládání jednotlivých vrstev modulu zigbee. Jako například knihovna pro volání časovačů, LED diod nebo ovládání uspávání a probouzení.

3.5.1.1 Koordinátor

Koordinátor je prvek na vrcholu topologie a bude připojen přímo k obslužnému PC, na kterém bude běžet zobrazující program. Program bude předávat informace obdržené z routerů a koncových zařízení. Koordinátor bude také inicializovat založení komunikační sítě.

3.5.1.2 Router

Router je hlavní prvek sítě jelikož zajišťuje preposílání zpráv a synchronizaci měření jednotlivých koncových zařízení. Router po připojení do sítě čeká na přijetí zprávy o zaznamenání pohybu snímačem PIR, který bude umístěn na některém z koncových zařízení. Poté sám provede jedno měření ultrazvukovým snímačem a zahájí měřicí sekvenci. Synchronizace měřicí sekvence je zajištěna pomocí předávání tokenu jednotlivým koncovým zařízením. Po odměření koncové zařízení pošle token zpátky na router, který ho pošle na další zařízení v pořadí. Jakmile získá data od všech zařízení odešle router data na koordinátor. Pokud je snímačem PIR stále hlášena aktivita, započne novou měřicí sekvenci. V opačném případě se vrátí do výchozího stavu, kdy čeká na zprávu o aktivitě.

3.5.1.3 Koncové zařízení

Koncová zařízení budou představovat jednotlivé ultrazvukové snímače. Budou mít režim spánku, který bude ovládán routerem. Při prvním spuštění provedou kontrolní měření, které si uloží do paměti. V aktivním režimu pak budou měřit na základě synchronizace z routeru, aby nedošlo k vzájemnému ovlivnění. Z naměřených hodnot odfiltrují hodnoty z prvního měření a následně je přepošlou přes router do koordinátoru.

3.5.2 Zobrazovací program na PC

Zobrazovací program bude zpracovávat naměřené hodnoty od jednotlivých snímačů spolu s jejich polohou, kterou bude mít uloženou v databázi. Výpočet polohy bude prováděn na základě znalosti čtyř poloh snímačů a naměřené vzdálenosti objektu od každého z nich. Díky čtvrtému známému bodu a vzdálenosti budeme schopni měřit dvě osoby v zákrytu a výsledky průměrovat a tak v případě nepřesného výsledku dostaneme přibližnou polohu. Výsledné hodnoty program graficky zobrazí.

4. VYPRACOVÁNÍ

V této kapitole je popsána realizace sítě, použité prostředky a podrobný výklad funkce jednotlivých částí.

4.1 VÝBĚR SNÍMAČŮ

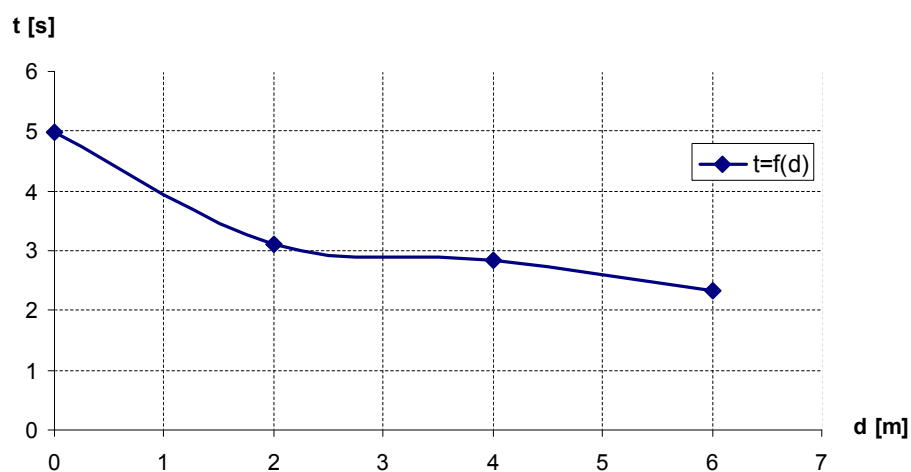
Pro finální verzi sítě byly použity snímače PIR a namísto ultrazvukových snímačů byly použity teplotní snímače umístěné na modulech. Od ultrazvukových snímačů bylo upuštěno z důvodů náročnosti jejich připojení přes I2C sběrnici, ke které nebyla žádná použitelná dokumentace a náročnosti vyhodnocení dat, jež by zapříčinily neodevzdání práce v termínu. S ultrazvukovými snímači se ale nadále uvažuje pro rozšíření této práce a aplikace je pro tento budoucí postup upravována.

4.1.1 Ověření vlastností PIR

Jelikož nebyly v dokumentaci pro PIR snímač přesně stanoveny doby návratu do výchozího stavu. Bylo provedeno měření v laboratoři. Výstup PIR senzoru byl připojen na osciloskop a měřila se doba návratu do výchozího stavu PIR po ukončení pohybu před snímačem. Z následující tabulky je patrná nepřímá závislost klesací doby ustálení při zvyšující se vzdálenosti pohybujícího se objektu. Je to způsobeno tím, že se zvyšující se vzdáleností se snímané paprsky rozptylují a při pohybu objektu se naruší jenom dva. Zatímco při pohybu vykonaném v těsné blízkosti jsou narušeny téměř všechny a senzoru tak trvá déle než vezme všechny nové hodnoty jako pozadí. Dále se zkoumal dosah snímače. Měření se provádělo v dlouhé školní chodbě. Snímač byl schopen rozeznat pohyb až do vzdálenosti 30m, ale za podmínky, že pohyb byl dostatečně rychlý a pohybem byly narušeny nejméně dva snímané paprsky. Dalším důležitým parametrem použitým pro připojení PIR na zigbee moduly byl tvar výstupního signálu. V klidovém stavu byl stejnosměrný signál s úrovní 2,439 V (dále již „high,“) a při zaznamenání pohybu napětí kleslo na 22,0mV(dále již jen „low,“ úroveň). Při změnách nenastávaly žádné překmity.

vzdálenost [m]	s krytkou				bez krytky
	0	2	4	6	0
doba návratu do výchozího stavu [s]	5,1	3,7	3	1,9	6,08
	4,7	2,9	2,8	2,3	6,22
	5	2,9	2,5	2,2	6,12
	4,7	3	2,5	2,3	6,14
	4,7	3,2	2,1	1,7	6
	5,2	3,3	3,2	2,6	6,28
	5,1	2,9	2,5	2,3	6,12
	5	2,8	3	2,3	6,12
	5	3,2	3,4	2,2	6,015
	5,1	3	2,9	2,7	6,08
	5,3	4	4,4	2,6	6,32
		3,2	2,1	2,8	6,09
		3,1	2,4	1,5	6,26
		2,3		2,6	
				2,6	
				2,6	
průměrná hodnota	4,99	3,11	2,83	2,33	6,14
směrodatná odchylka	0,21	0,40	0,62	0,37	0,10

Tabulka 3: Časové hodnoty ustálení PIR

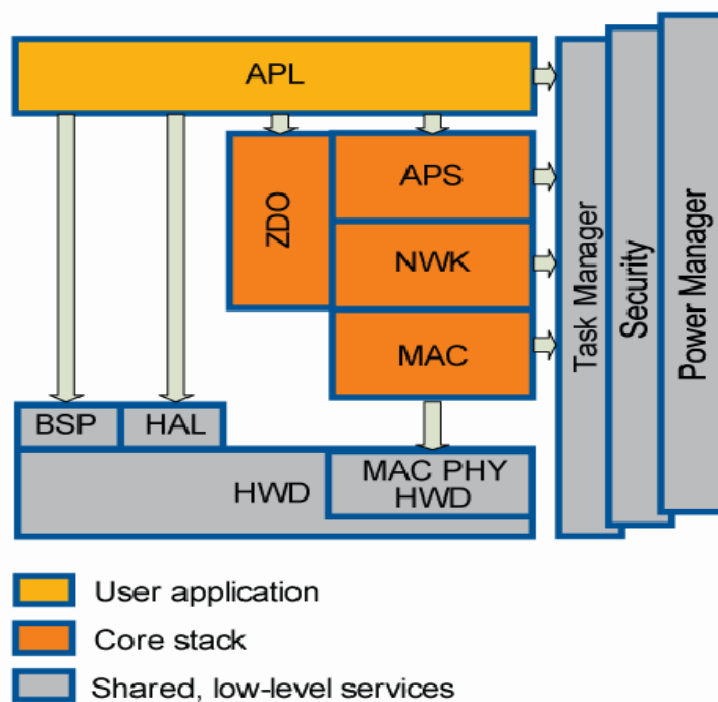


Obrázek 9: Graf závislosti doby návratu do klidového stavu na vzdálenosti

Z tohoto měření se dá vyčíst, že nejvýše po 6ti sekundách přejde PIR do výchozího stavu po skončení aktivity. Z tohoto důvodu je nastaven časovač na 10 sekund, je zde dána ještě rezerva, po jehož uplynutí router bere aktivitu PIR za skončenou pokud není obnovena novou zprávou o aktivitě. To z toho důvodu, kdyby zpráva o ukončení aktivity nedošla a systém tak neměřil zbytečně.

4.2 POUŽITÉ PROSTŘEDKY PRO REALIZACI

Pro vypracování byl použit ZigBit 900 Development Kit, který obsahoval 3 MeshBean 900 development board. Jednotlivé desky byly programovány ve vývojovém programu AVR Studio 4. Pouze aplikace určená pro zobrazení dat na PC byla naprogramována ve Microsoft Visual Studio 2008. Aplikace využívá BitCloud softwaru jež je určen pro vývoj aplikací využívající bezdrátových technologií. Práce je zaměřená na vývoj aplikace pracující na aplikační vrstvě BitCloudu.



Obrázek 10: BitCloud blokový diagram [14]

4.2.1 AVR Studio

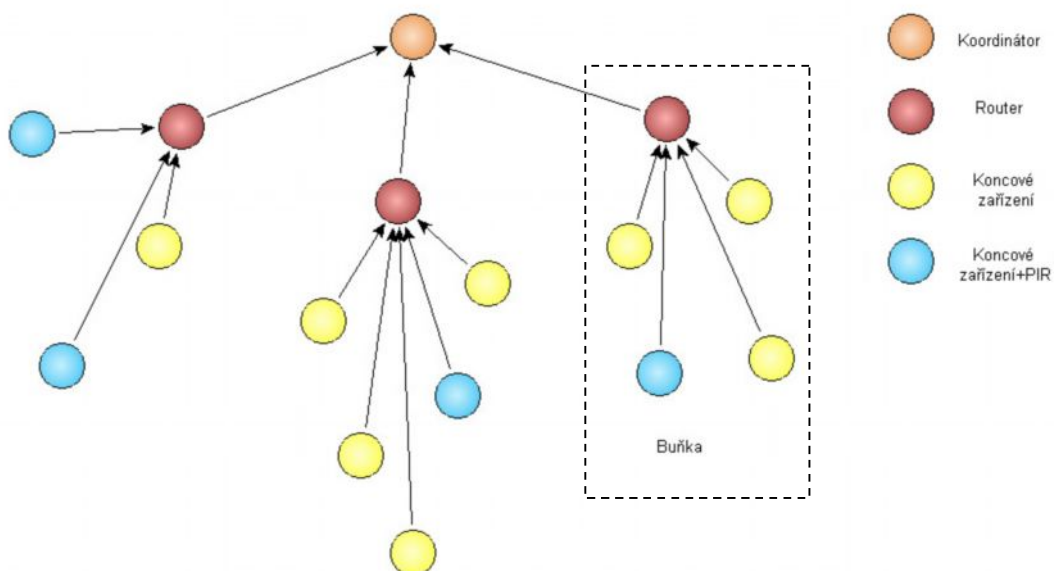
AVR Studio 4 je vývojové prostředí pro vývoj 8-bitových AVR aplikací ve Windows NT/2000/XP/Vista/7 prostředí. AVR Studio 4. Poskytuje kompletní set nástrojů pro dobging, krokování, správu registrů, paměti a I/O. Je vyvíjeno společností Atmel, která jej poskytuje zdarma. [15]

4.2.2 Microsoft Visual studio 2008

Microsoft Visual C++ je komerční vývojové prostředí vyvíjeno firmou Microsoft pro jazyk C, C++ a C#. Obsahuje nástroje pro vývoj a debugging C++ kódu, především psaného pro Microsoft Windows API, DirectX API, a Microsoft .NET Framework. [16]

4.3 STRUKTURA SÍTĚ

Síť má topologii stromu. Nejvýše je koordinátor, který zakládá síť a předává data na zpracování do PC. Na koordinátor se připojují routry. Nejniže v topologii jsou koncové zařízení(ED) a koncové zařízení+PIR. Jedna buňka sítě je tvořena routrem, dvěma ED a jedním ED+PIR. Rozšířené verze základní buňky by mohly obsahovat více ED a ED+PIR. Teoreticky je možné připojit do sítě až 65536 prvků, což by tvořilo až 16383 buněk. Jelikož data z každé buňky jsou přenášeny na jediný koordinátor, přenos dat by se v síti nestíhal. Správnou funkci naší sítě můžeme předpokládat pro několik desítek prvků, jež zcela postačuje pro naše účely.



Obrázek 11: Logická topologie sítě

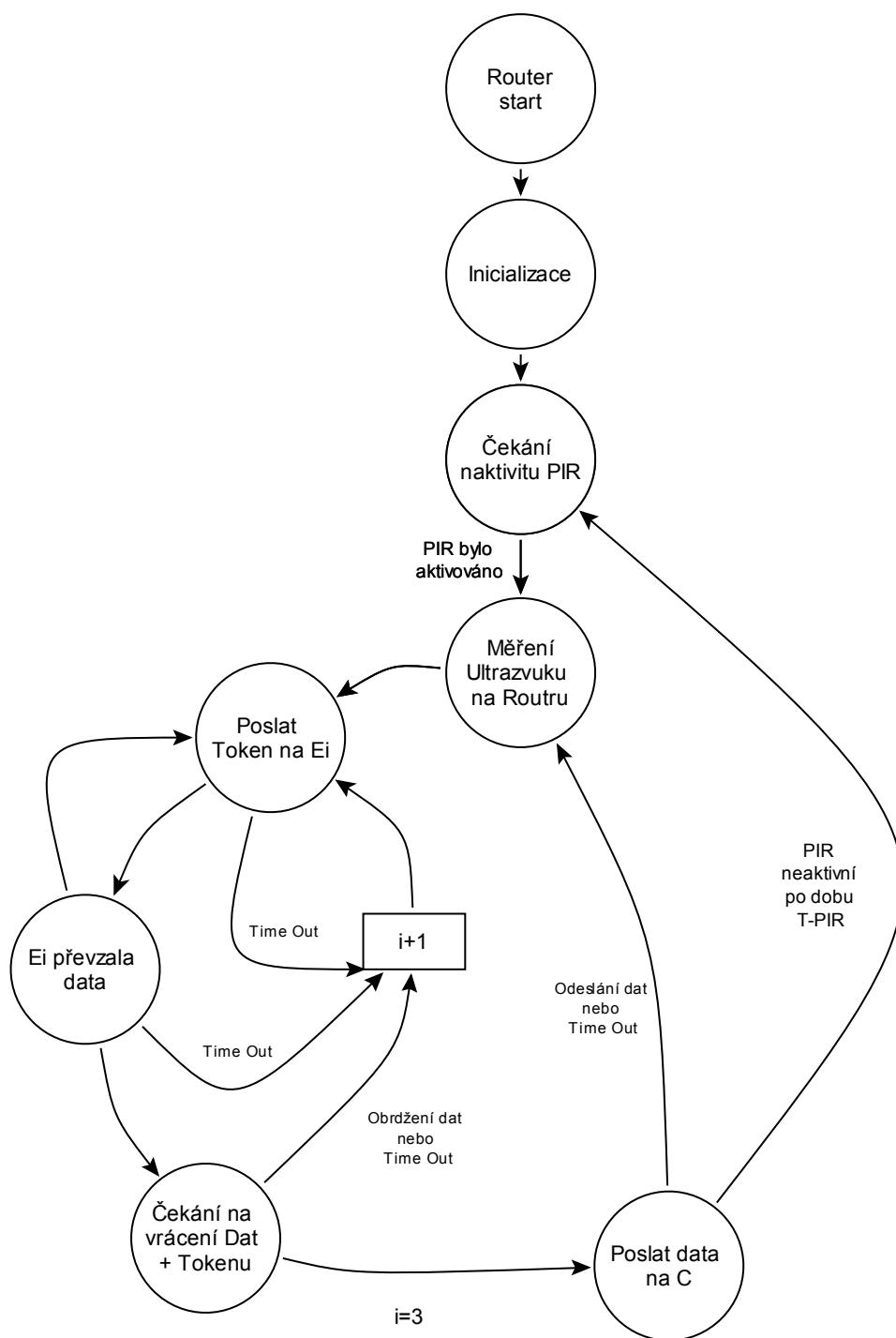
4.4 NÁVRH APLIKACE

Zde jsou blíže popsány logické postupy jednotlivých částí sítě. Hlavní část tvoří router na jehož stavovém diagramu (obr. 12) je vidět funkce celé sítě, jelikož ED zajišťují především sběr dat a koordinátor jejich přesun na PC.

4.4.1 Router

Router je sice v topologii pod koordinátorem, ale zastává nejdůležitější funkci a to synchronizaci měření. Router po zapnutí a připojení do sítě přesune do stavu „čekání na pir“, kde čeká na zprávu o změně stavu pir na aktivní. Pokud se tak stane, router změní stav struktury „PIR“, jež uchovává aktuální stav. Sám provede vlastní měření a následně posílá zprávu s tokenem na koncové zařízení nebo koncové

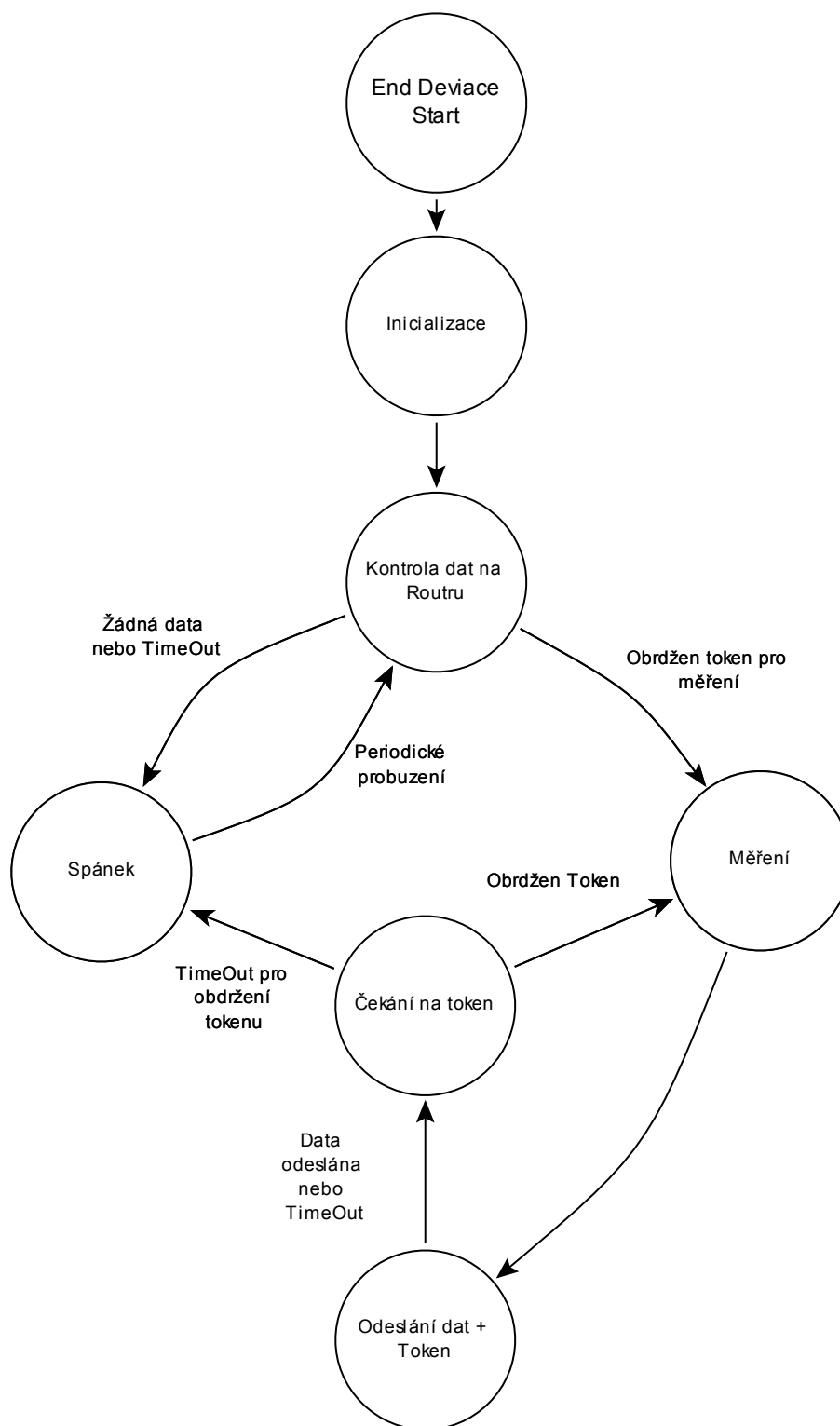
zařízení+PIR, které má první v „tabulce spravujících koncových zařízení“, zařízení nacházející se pod ním. Zařízení jsou pevně do tabulky zapsány, protože vzhledem k použitému protokolu by bylo dynamické připojování obtížné, vzhledem k tomu, že může nastat rozdíl mezi logickou podobou sítě a skutečnou. Po odeslání zprávy router čeká na potvrzení přijetí. Pokud do Timeoutu nepříjde potvrzení, pokusí se o opětovné odeslání. Pokud dostal potvrzení o přijetí, čeká na vrácení tokenu do vypršení Timeoutu. Pokud v jednom čekání dojde k vypršení Timeoutu, router se posune o jedno ED dál. Toto zabezpečení je uděláno pro případ poruchy nebo zastínění ED a znemožnění přenosu. Tak je zajištěno, že se router nezasekne při pokoušení o navázání spojení s nedostupným ED. Jakmile se router dostane na konec tabulky, odešle nashromážděná data na koordinátor. Pokud je stav PIR stále aktivní, opakuje se celé měření. V opačném případě se vrátí do stavu „čekání na pir,“. Timeouty jsou 1 sekunda. Mohli bychom nastavit i nižší hodnotu, ale v experimentálních měření se nepředpokládají poruchy a Timeouty mají pouze ochranou funkci.



Obrázek 12: Stavový diagram routeru

4.4.2 Koncové zařízení (ED)

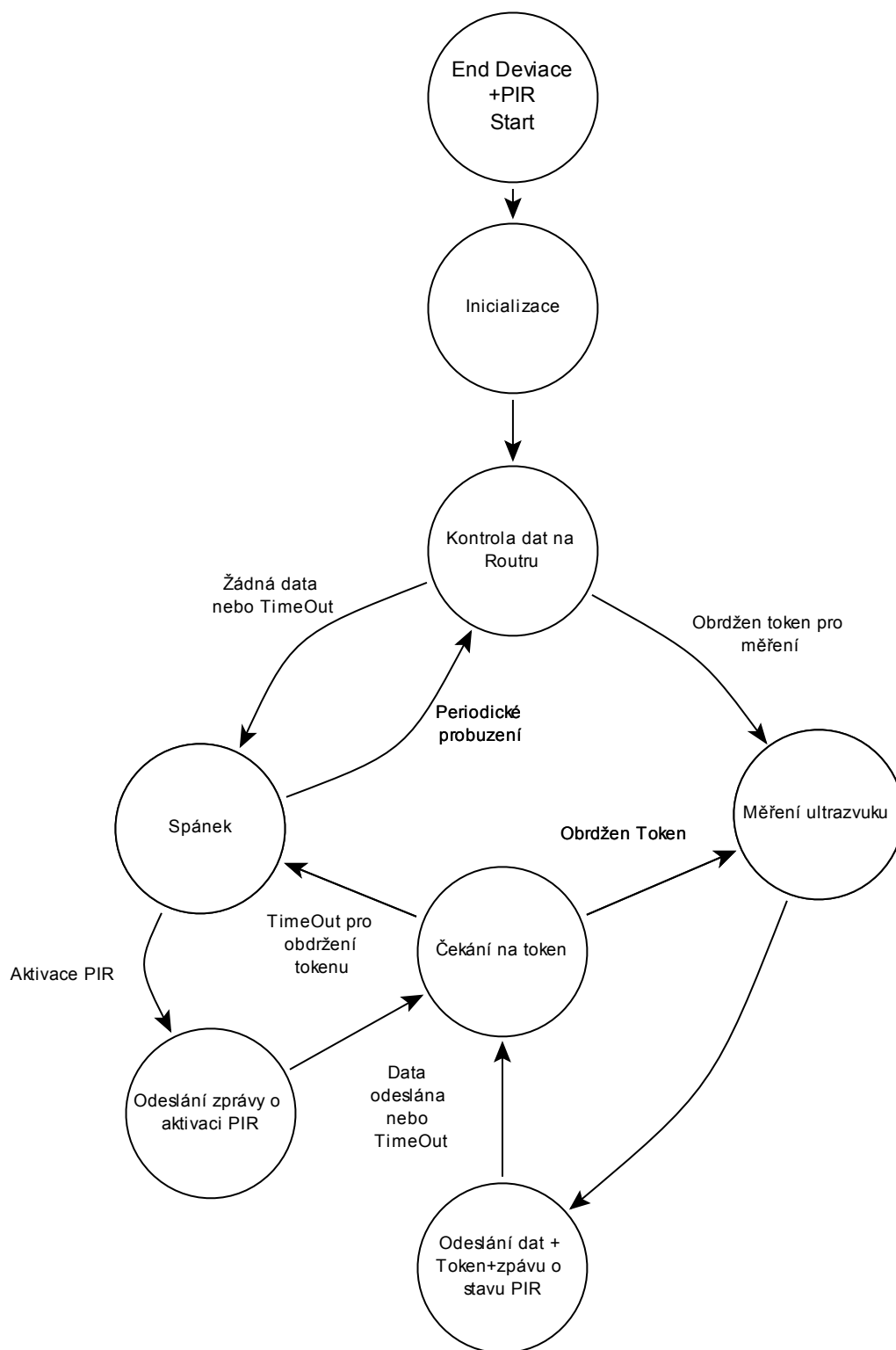
Koncové zařízení neboli End Device je nejnižší v síti. Po zapnutí se připojí do sítě zavedené koordinátorem. Zkontroluje, zda router nemá pro něj zprávu. Pokud žádnou zprávu nemá, ED přejde do režimu spánku. Po probuzení časovačem se opět zkontroluje, zda pro něj není na routeru zpráva. Jestli obdrží zprávu s tokenem, přesune se do stavu měření. Po odměření odešle zprávu s naměřenou hodnotou. Pak se přesune do stavu, kdy čeká na nový token. V tomto stavu se zařízení uspí pro šetření baterií, ale pouze na zkrácenou dobu. Přenosy jsou opět ošetřeny TimeOuty. Je zde zaveden ještě TimeOut pro čekání na token. Pokud do jeho obdržení ED neobdrží token přesouvá se do stavu spánek.



Obrázek 13: Stavový diagram koncového zařízení

4.4.3 Koncové zařízení + PIR (End Deviace+PIR)

Obslužný program má kód stejný jako ED, rozdíl je pouze v tom, že je k modulu připojen PIR snímač. Výstup PIR snímače je přiveden na IRQ 6 a 7. IRQ mají obslužné funkce pro zpracování signálu. Pokud PIR zaznamená aktivitu, vysílaný signál se nastaví do úrovně low a sepne IRQ 6, které vyhodnocuje příchod low úrovně. Pokud se PIR vrátí do původního stavu na úroveň high, sepne IRQ 7, jež se spustí při příchodu nástupné hrany. Není použito spínání na high úroveň, protože při doladování programu bylo experimentálně zjištěno to, že při nastaveném spínání na high úroveň se IRQ 7 nespouští, pokud jsou zapnuta obě IRQ. Pokud se tedy spustí IRQ 6, zavolá obslužnou funkci, jež ED vzbudí pokud spí a odešle zprávu o zaznamenání aktivity PIR. Pokud se PIR vrátí do klidového stavu, změní se pouze hodnota odesílaných dat, jež se odešlou při příštím transferu. Je to z toho důvodu, že zpráva o skončení aktivity není nutné předat okamžitě. Navíc pokud by ED nedostalo token, neprovedlo měření a nemohlo odeslat zprávu o ukončení aktivity PIR, router buď vyhodnotil jiným způsobem, že se má skončit s měřením nebo je ED nějak zastíněné a nemůže přijímat nebo odesílat.



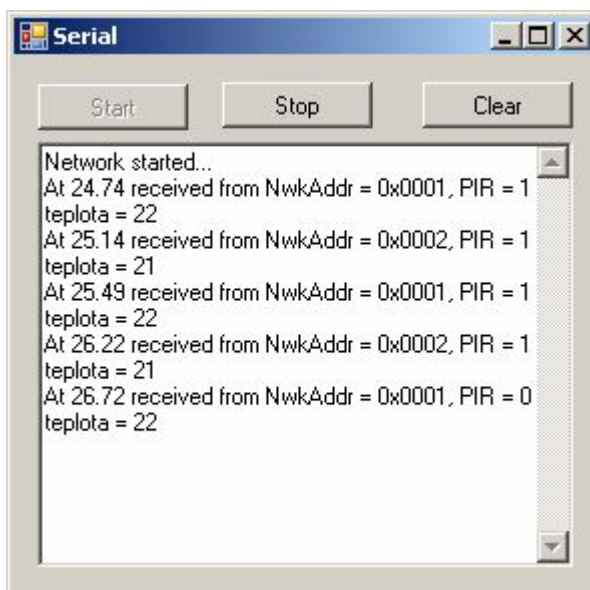
Obrázek 14: Stavový diagram koncového zařízení + PIR

4.4.4 Koordinátor

Hlavní funkce koordinátoru je po zapnutí vytvořit síť do které se ostatní prvky můžou připojit. Jakmile je síť vytvořena, přesouvá se do vyčkávacího stavu. V tomto stavu čeká na příchozí data od routeru jež pošle přes virtuální COM port (USB) do PC. Koordinátor je po celou dobu zapnut a připojen kabelem USB k PC, kterým je napájen.

4.4.5 Zobrazení v PC

Zobrazení v PC bylo řešeno pouze jednoduší windows aplikací. Je to z toho důvodu, že nejsou použity ultrazvukové snímače. Aplikace vyčítá data, která přišla na virtuální COM port a zobrazuje je v TextBlocku.



Obrázek 15: Aplikace pro zobrazení dat v PC

4.4.6 implementace

Zde jsou popsány vytvořené soubory, hlavní části programu a některé funkce použité z BitCloudu.

4.4.7 Popis souborů

Soubory `coordinátor.c`, `router.c` a `enddeviace.c` jsou vývojové a obsahují program v jazyce C. Soubory se stejným jménem, ale s koncovkou `.srec` jsou zkompileované soubory připravené pro nahrání na chip pomocí GuiBootlouaderu přes USB obsaženého v BitCloudu. Hex soubory s koncovkou `.hex` jsou určeny pro nahrávání na chip přes programátor. Makefile soubory bez koncovky obsahují informace pro kompilator. Jsou zde ještě soubory s koncovkou `.aps`, které jsou vytvořeny při zakládání projektu a soubory s koncovkou `.elf` které využívá debugger.

4.4.8 Popis hlavních částí programu

Každý program začíná funkcí `APL_TastHandler`, která je zavolá po startu modulu. V této funkci je pomocí switche a aktuálního stavu připojení rozhodnuto o přesunutí do `processTasku` nebo založení či připojení do sítě.

Koordinátor nemá `processTask` část, protože po založení sítě jenom přeposílá získaná data do PC. Vyvolání funkce na přesun je zajištěno automaticky jako volání `handlu` pro nastalou situaci.

4.4.9 Popis některých funkcí

`EndDeviace` a `Router` mají v `processTask` části swich rozhodující se podle struktury jež přibližně odráží stavový diagram. Oproti stavovému diagramu je rozšířena o stavy, použité pro kontrolu a přípravu přechodu do nového stavu. Například `ENDDEV_SLEEP_READY_STATE`, ve kterém se vypínají LED diody a senzory. Zbylé vrstvy jsou uspávány a probouzeny pomocí `ZDO_SleepReq` a `ZDO_WakeUpReq`.

BitCloud API funkce jsou rozděleny na kategorie odpovídající vrstvám:

- * APS (Aplikační podpůrná podvrstva)
- * ZDO (ZigBee zařízení objekt)
- * Konfigurační serverové funkce
- * Multitasking management funkce
- * HAL (funkce ovládající hardwarové funkce ZigBit modulu)
- * BSP (funkce poskytující rozhraní pro tlačítka a senzory na MeshBean2 board)

V aplikaci je použito hodně timerů, především ve funkci TimeOut. Timery jsou použity v režimu TIMER_ONE_SHOT_MODE a jejich hodnota je nastavena v ms. Po jejich zapnutí je zavolán callback odkazující na nějakou funkci jež je provedena. Většinou funkce obsahuje změnu stavu. Timery spadají do kategorie HAL.

4.5 VYHODNOCENÍ

Sít' by měla po aktivaci pohybem začít synchronizovaně měřit a předávat data do PC na zobrazení. Zároveň v době neaktivity by měla koncová zařízení šetřit energii.

Na demo aplikaci byly ověřeny předpokládané vlastnosti sítě. Všechny požadované funkce běžely dle požadavků.

Jelikož moduly svou spotřebou neodrážely skutečné hodnoty spotřeby z důvodů napájení i nepotřebných částí, byly brány datasheetové hodnoty. Pouze hodnota pro odeslání zprávy byla měřena a to kvůli započítání prodlev v programu a ověření přijetí. Hodnota byla změřena a zprůměrována, vyšla hodnota 0,3s. Tato hodnota pak byla základ pro výpočet spotřeby vzhledem k počtu přenosu během jednoho měřicího cyklu.

Výpočtem byly zjištěny požadované hodnoty spotřeby. Pro měření, které je nastaveno bez prodlev, je průměrná spotřeba 11mA/s. Což při použití baterií s kapacitou 2800 mAh zaručuje životnost na 11dní neustálého měření. ED jsou v tomto režimu 60% svého času aktivní.

V klidovém stavu, kdy není žádná aktivita a ED se probouzejí pouze po 5ti sekundách, aby zkontrolovali zda pro ně není zpráva, je průměrná spotřeba 1,5 mA/s. Životnost baterií je pak přibližně 78 dní. ED jsou aktivní pouze 6% svého času.

Z těchto hodnot pak můžeme odvodit, že 4 hodiny měření zkrátí životnost baterií o 1 den oproti klidovému stavu. Pokud by byly čidla aktivní 6 hodin denně, vystačily by baterie na měsíc provozu.

Pokud by nebylo možné napájet router v místě měření, musela by se mu tato funkce zakázat a nahradit jeho měření jiným snímačem. To by mělo za následek prodloužení intervalů a celkové zpomalení aktualizace dat.

5. ZÁVĚR

V rámci této práce byla vytvořena aplikace na principu senzorové sítě, která slouží pro přenos naměřených dat a pro synchronizaci měření, která nemohou probíhat současně.

Jednotlivé body požadované v zadání byly splněny následujícím způsobem:

- Podle pokynů byla vytvořena aplikace splňuje funkční požadavky stanovené v práci,
- na základě materiálů k standardům IEEE 802.15.4/ZigBee byl implementován protokol pro přenos dat po síti
- po seznámení se s metodami a snímači byl proveden jejich výběr na základě potřebných vlastností pro tuto aplikaci,
- výsledkem navržení přenosu dat je logická topologie sítě a funkce jednotlivých prvků sítě, pro vyhodnocení dat byla vytvořena aplikace zobrazující data na PC.
- na základě navrženého postupu byla vytvořena demonstrační aplikace, na které byl navržený postup vyzkoušen a otestován.

Konkrétní výstupy práce jsou především:

- Výběr snímačů měl splňovat několik hlavních parametrů. Energeticky nenáročný snímač pro aktivaci sítě a snímač pro určení vzdálenosti pro rozsah několik metrů až centimetrů. Vybráním PIR snímače s odběrem pouhých 8uA a ultrazvukový snímač pro určení vzdálenosti zcela splňovaly tyto požadavky.
- Návrh logické topologie a jednotlivých členů byl vytvořen podle směru přesunu dat a počtu prvků na jednotlivých úrovních topologie. Nejníže umístěné koncové zařízení jsou v nejhojnějším počtu. Na jejich synchronizaci je potřeba menší počet routerů a pouze jeden koordinátor pro přenos dat do PC.
- Program pro zobrazení v PC má pouze textový výstup a neobsahuje výpočtové algoritmy. Zcela postačuje pro kontrolu přenesených dat a je výtečnou pomůckou při odlaďování programu, nicméně pro aplikační použití je z uživatelského hlediska nedostatečný.
- Vytvoření aplikace nainstalované na jednotlivých prvcích sítě. Aplikace má 3 modifikace pro koordinátor, router a koncové zařízení, aby jejich spojení vytvořilo síť předávající si potřebná data a zajišťovalo synchronizované měření.

Pro naprogramování aplikace a bezdrátové komunikace mezi jednotlivými prvky v síti byl využit nejnovější ZigBee Protokol Stack z roku 2007. Práce s touto novou technologií nebyla jednoduchá, jelikož nebylo zveřejněno větší množství projektů ani návodů, jak s ní pracovat. Proto práce na jejím pochopením a porozuměním zabrala spoustu času.

Ve zvoleném řešení nejnižší prvky topologie (koncové zařízení) měří vzdálenost objektu pro zjištění jeho polohy a v době klidu jsou v režimu šetřící energii. Prvek nad nimi (router) řídí přenos dat a synchronizaci měření pomocí tokenu. Token představuje povolení k měření, které je spolu s naměřenými daty vráceno zpět na router. Prvek nejvýše (koordinátor) zajišťuje přesun dat do PC a umožňuje, aby PC bylo vzdáleno od místa měření.

Vytvořený projekt se snaží o nízké energetické náročnosti, možnosti instalace, rozšiřitelnosti, malých rozměrech. Nízká energetická náročnost je zajištěna režimem spánku koncových zařízení, které jsou napájeny bateriemi. Díky použité bezdrátové technologii a spotřebě se dá instalovat na různá místa bez nutnosti zásahů do konstrukce budovy nebo přívodem kabelů s napájením nebo pro přenos dat. V případě nutnosti přidání snímače se pouze zapíše adresa nového prvku do tabulky v routeru. Celá aplikace je nahraná v mikročipech, které se vlezou do pouzdra spolu se snímačem.

Nevýhody plynou z výhod a celkového pojetí. Především je spousta času zabrána posíláním tokenu přes router. Výhoda je, že je zcela zaručeno měření pouze jednoho senzoru, na druhou stranu je to energeticky a časově náročné. Dalším omezením je nutnost napájení routeru jinak než bateriemi, vzhledem k neustálým přenosům a zajištění komunikace a skladování dat pro ostatní prvky. Značným nedostatkem této práce je nenaimplementování zmíněných ultrazvukových snímačů z důvodu použité technologie a nedostatku času při ostatním studiu.

Vhodné rozšíření toho projektu by bylo vytvoření obslužné funkce spravující ultrazvukové snímače a naprogramování algoritmu pro výpočet polohy objektu v prostoru na základě získaných dat z těchto snímačů. Vítané by bylo také vytvoření aplikace zobrazující výsledky v grafické podobě, poskytující přehled o snímaném prostoru, rozmístění čidel a aktuální poloze objektu. Dále by byl přínos pro tuto aplikaci vymyšlení zpětné vazby, pokud by se objekt přiblížil k překážce nebo nebezpečnému místu.

6. REFERENCE

- [1] Wikipedia, the free encyclopedia, „Motion detector“ [online]. Poslední změna 16.10.2009 05:13. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_detector>
- [2] All Products Online Corp „PIR Motion Sensor Module" [online]. Dostupné z: <http://www.allproducts.com/ee/irtec/15-infrared_detector-l.jpg>
- [3] Snail Instruments „SRF08" [online]. Dostupné z: <http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=65_72&products_id=194>
- [4] Navajo otevřená encyklopedie „Sonar" [online]. Dostupné z: <<http://sonar.navajo.cz/>>
- [5] Home security guru „Microwave Motion Detector Guide" [online]. Dostupné z: <<http://www.homesecurityguru.com/microwave-motion-sensors>>
- [6] Addison electronique „Passive infrared and microwave sensor" [online]. Dostupné z: <https://www.addison-electronique.com/catalog/product_info.php?products_id=204896>
- [7] HW server s.r.o „ZigBee - novinka na poli bezdrátové komunikace"[online]. Publikováno: 8. Červen 2005 - 0:00. Poslední změna: 27května 2010 7:44:26. Dostupné z: <<http://hw.cz/Rozhrani/ART1299-ZigBee---novinka-na-poli-bezdratove-komunikace.html>>
- [8] Patrick Mannion. "Wibree turns handsets into sensor gateways" [online]. Publikováno: 01.12.2006. Dostupné z: <http://www.eetasia.com/ART_8800444104_499488_NT_3f7902e1.HTM>

[9] Mark E. Hazen. „Zigbee vs Z-Wave battle continues“ [online]. Publikováno 8.10.2007 Dostupné z:

<http://mobiledevdesign.com/hardware_news/zigbee_zwave_battle_1008/>

[10] EE Times Asia „Wibree turns handsets into sensor gateways" [online]. Publikováno 1.12.2006. Dostupné z:

<http://www.eetasia.com/ART_8800444104_499488_NT_3f7902e1.HTM>

[11] ZigBit Development Kit Users Guide. 2008. 54s. Meshnetics Doc. S-ZDK-451

[12] Atmel Corporation. „ZigBit 900 Module with Balanced RF Output“ [online]. Publikováno 2010 ". Dostupné z: <<http://www.meshnetics.com/zigbee-modules/zigbit900/>>

[13] P. Zappi, E. Farella, L. Benini, "Enhancing the spatial resolution of presence detection in a PIR based wireless surveillance network," avss, pp.295-300, 2007 IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2007"

[14] BitCloud Stack Documentation. 2008. Meshnetics Doc. P-ZBN-452~02

[15] Atmel Corporation „AVR Studio 4" [online]. Publikováno 2010. Dostupné z: <http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card_v2.asp?tool_id=2725&source=redirect>

[16] Wikipedia, the free encyclopedia, „ Visual C++" [online]. Poslední změna 29.4.2010 v 11:11 Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_C%2B%2B>

7. SEZNAM ZKRATEK

„PIR" – pasivní infračervený snímač (Passive Infra Red)

„ED" – koncové zařízení (End Device)

„APS" – Application Support Sublayer

„ZDO" – ZigBee Device Object

„HAL" – Hardware Abstraction Layer

„BSP" – Board Support Package

„koncové zařízení+PIR" – koncové zařízení vybaveno pasivním infračerveným snímačem